

CAPÍTULO 4

CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

**JUAN CARLOS
MARTÍNEZ ESCRIBANO**
Ingeniero Consultor

juancarlosmartinezescribano@yahoo.es



CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

- Experiencias en funcionamiento
- Temperaturas y presiones de operación
- Fluidos de trabajo
- Prevención de flujo inverso
- Protección contra altas temperaturas
- Protección contra bajas temperaturas: riesgo de heladas
- Protección frente a las presiones máximas

EXPERIENCIAS EN FUNCIONAMIENTO

- Gran variabilidad del parámetro fundamental: el consumo diario de agua caliente
- Los perfiles de consumo diario son de segundo orden
- La fiabilidad del proceso de calentamiento diurno
- Verificar el enfriamiento nocturno que puede ocurrir:
 - Por circulación inversa
 - Por pérdidas térmicas y rotura de estratificación
- Prestaciones muy variables afectadas por detalles
- Importancia de las condiciones de la instalación
 - retenciones de aire reducen circulación (purga)
 - largos recorridos consumen mucha energía (pérdidas térmicas)

TEMPERATURAS DE OPERACIÓN

- De funcionamiento normal
- De montaje
- De puesta en funcionamiento
- En condiciones climáticas extremas
- En reducciones o interrupciones del consumo
- En incidencias durante el funcionamiento:
 - cortes de suministro eléctrico
 - vaciados de circuitos

PRESIONES DE OPERACIÓN

- De cada uno de los circuitos
 - Circuito de consumo y abastecimiento de agua fría
 - Circuito primario
 - Diferencial de presiones
- Valores límites dependen de
 - Condiciones y acciones exteriores
 - Diseño del SST
- Considerar posibles incidencias:
 - cortes de suministro
 - vaciados de circuitos



EFFECTOS COMBINADOS DE PRESIÓN Y TEMPERATURA



FLUIDO DE TRABAJO EN EST

- Circuito de consumo: agua de red
- Circuito primario: Mezcla de agua con propilenglicol

Criterios de selección:

1. Mantener calidad sanitaria del agua potable
2. Asegurar la completa fiabilidad de que el uso de intercambiador mantiene separados los fluidos
3. Revisar la compatibilidad de los fluidos con los materiales en cada uno de los circuitos

PRESIÓN DE VAPOR DEL AGUA

CARACTERISTICAS DEL AGUA. PUNTO DE SATURACIÓN.

PRESION RELATIVA Kg/Cm2	TEMPERATURA °C
-0,99	6
-0,95	32,5
-0,8	69,7
-0,6	75,4
-0,4	85,5
-0,3	89,5
-0,2	93
-0,1	95,2
0	99,1
0,1	101,7
0,3	106,45
0,5	110,7
0,7	114,5
0,9	117,95
1	119,6
1,5	126,8
2	132,9
2,5	138,2
3	142,9
3,5	147,48
4	152,06
4,5	154,8
5	158,1
5,5	161,2
6	164,2
6,5	166,9
7	169,5

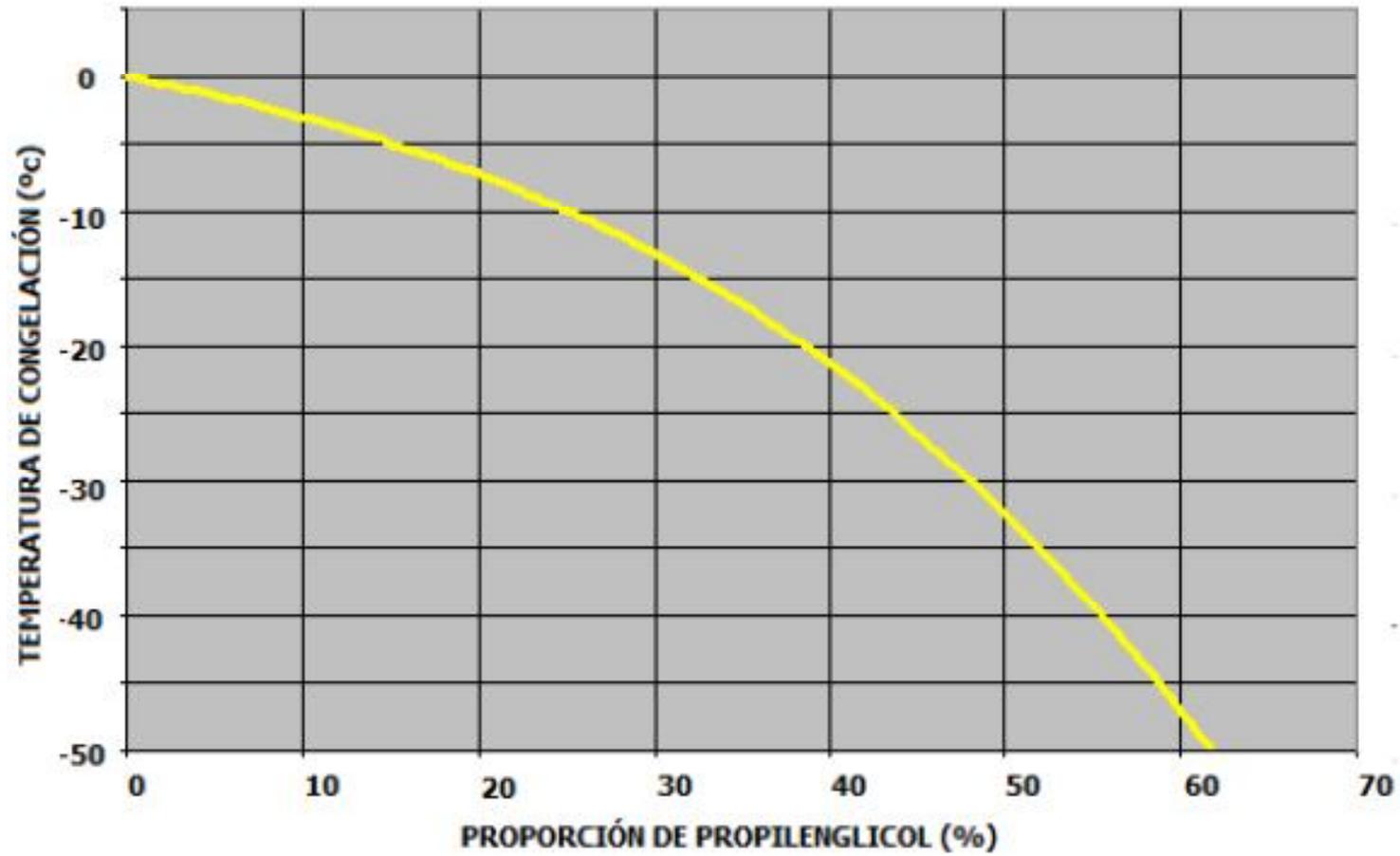
PRESION RELATIVA Kg/Cm2	TEMPERATURA °C
7,5	172,1
8	174,5
9	179,1
10	179,1
11	187,1
12	190,8
13	194,2
14	197,4
15	200,5
16	203,4
17	206,2
18	208,9
19	211,4
20	213,9
21	216,3
22	218,6
23	220,8
24	223
25	225
26	227,1
27	229,1
28	231
29	232,9
30	234,7
31	236,5
32	238,3
33	240

FLUIDO DE TRABAJO EN CIRCUITO CERRADO

- Requisitos:
 - Calor específico elevado
 - Temperatura de ebullición alta
 - Temperatura de congelación baja
 - Viscosidad baja
 - Coeficiente de expansión térmica bajo
 - Otros
- Condiciones de utilización:
 - Mantenimiento y durabilidad
 - Sistemas de llenado y vaciado



MEZCLAS ANTICONGELANTES



FLUJO INVERSO EN SST

Cualquier circulación natural del fluido no intencionado que enfría el acumulador solar y puede producirse:

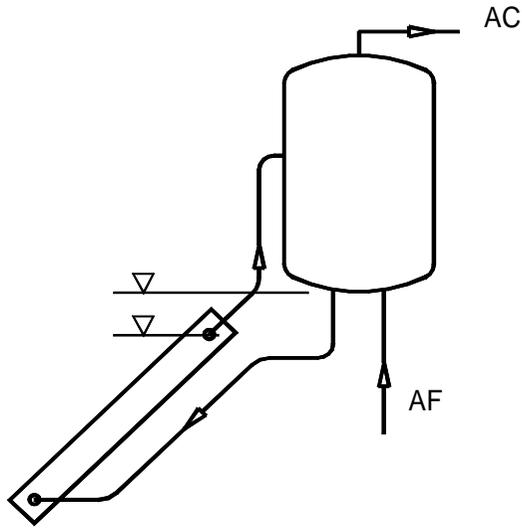
1. En el circuito primario en sentido contrario al de calentamiento e impulsado por las temperaturas del acumulador y el enfriamiento de colectores
2. En el interior de una misma tubería en función del diámetro y de las pérdidas térmicas
3. En la tubería de alimentación de agua fría al depósito acumulador por el aumento de presión del agua al calentarse.

PARA EVITAR EL FLUJO INVERSO EN SST

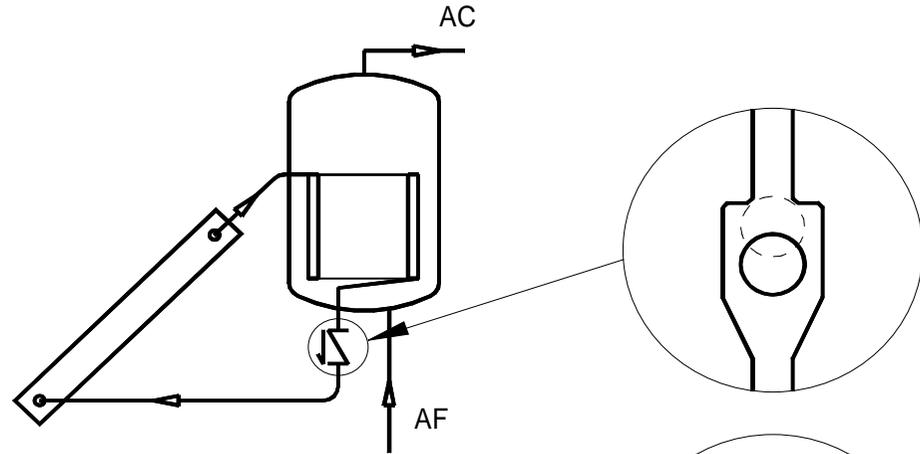
El flujo inverso en el circuito primario de sistemas termosifón se puede reducir y evitar estableciendo una diferencia de alturas entre la parte alta del colector y la parte baja del acumulador de, al menos, 30 centímetros.

Algunos fabricantes utilizan otros sistemas (válvulas de retención de baja pérdida de carga, sifones térmicos, u otros)

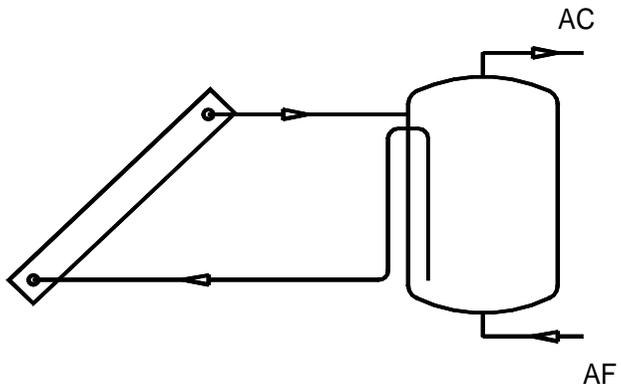
FLUJO INVERSO EN EL CIRCUITO PRIMARIO



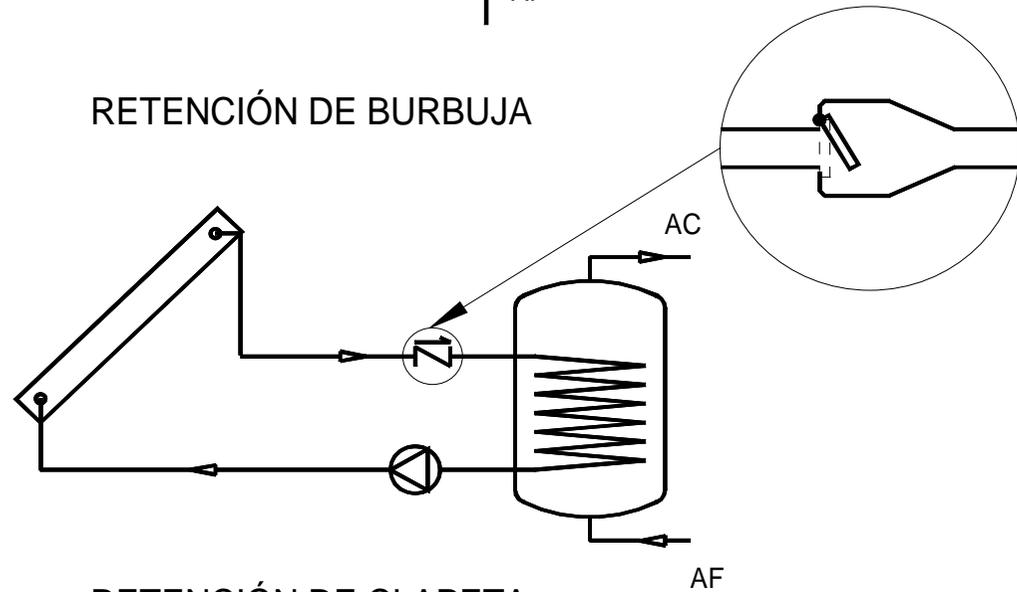
DIFERENCIA DE ALTURAS



RETENCIÓN DE BURBUJA



SIFÓN TÉRMICO



RETENCIÓN DE CLAPETA

DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN

Deben actuar para cualquier condición entre las situaciones extremas:

- de temperatura
- de presión

Deben evitar valores perjudiciales para

- los usuarios
- la instalación:
 - Lo que deben soportar los materiales
 - Para garantizar la durabilidad de los circuitos

PROTECCIÓN FRENTE A ALTAS TEMPERATURAS

- **Para evitar quemaduras al usuario:**
 - La máxima temperatura de uso debe ser inferior a 60°C
 - Cuidar los dispositivos que puedan evacuar fluido al exterior (válvulas de seguridad, de vaciado, etc.)
 - Contactos accidentales con superficies a alta temperatura
- **Para la instalación:**
 - Definir las temperaturas máximas de trabajo
 - Protección mediante seguridad intrínseca

PROTECCIÓN FRENTE A ALTAS TEMPERATURAS

- **SI** proteger por seguridad intrínseca
- Dispositivos externos **NO** protegen:
 - aerotermos para disipar calor
 - tapado de captadores
 - excedentes a otros consumos

Sistemas de protección mediante seguridad intrínseca:

- diseño de la expansión para absorber la formación de vapor
- no producción de vapor por vaciado de colectores
- diseño del primario con presiones superiores a la de vapor

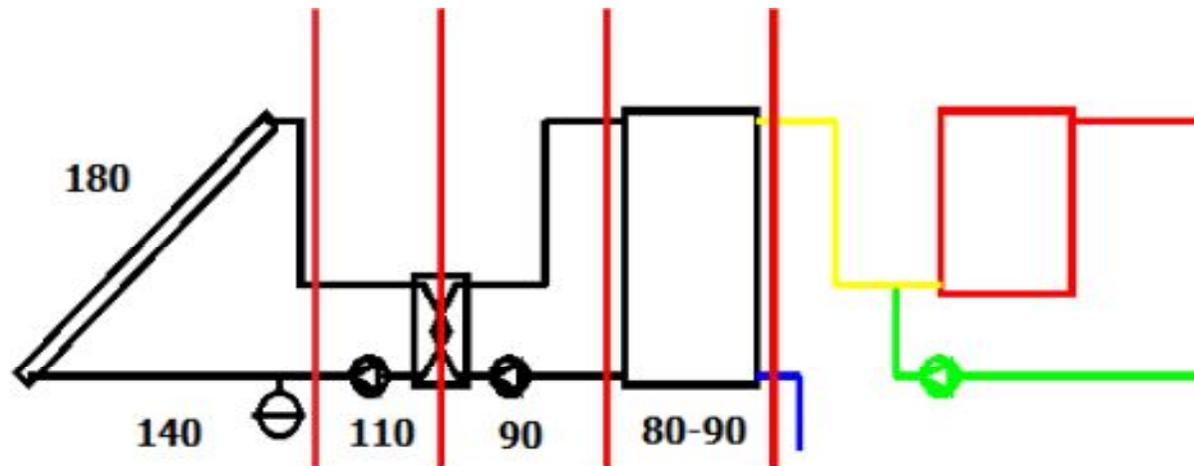
TEMPERATURAS MÁXIMAS DE TRABAJO

En circuito primario con formación de vapor

- en colectores y conexiones: temperatura de estancamiento
- La parte del circuito primario que puede contener vapor (140°C): saturación de fluido a la presión máxima
- en resto de componentes (110°C)

En circuito secundario

- en intercambiador y conexiones (90°C)
- resto de componentes según condiciones de funcionamiento



PROTECCIÓN A BAJAS TEMPERATURAS

Temperaturas mínimas:

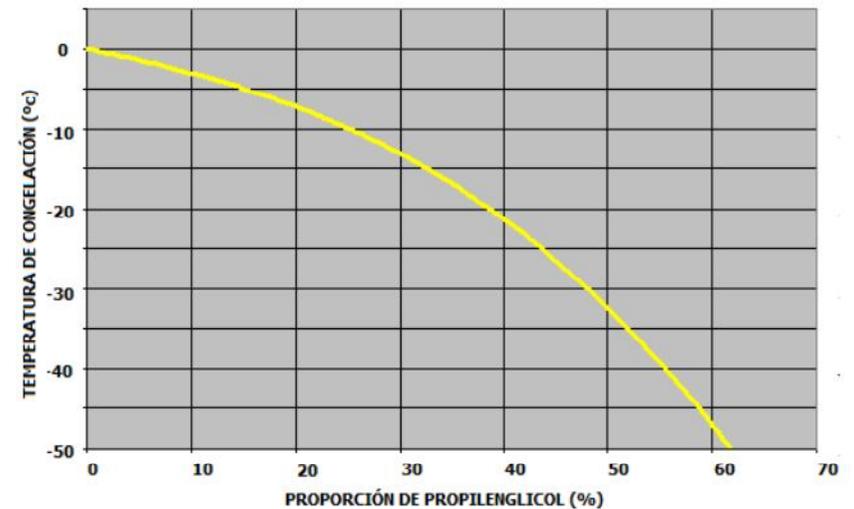
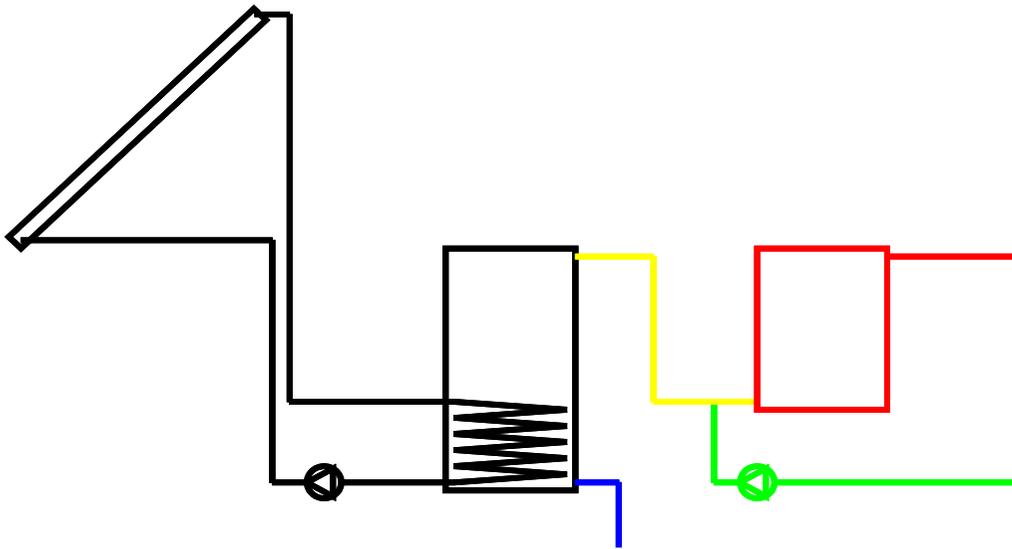
- Datos procedentes de valores mínimos históricos
- Protección de los colectores solares
- Protección de todas las tuberías al exterior

Sistemas de protección antiheladas:

1. Mezclas anticongelantes
2. Recirculación del fluido
3. Drenaje automático

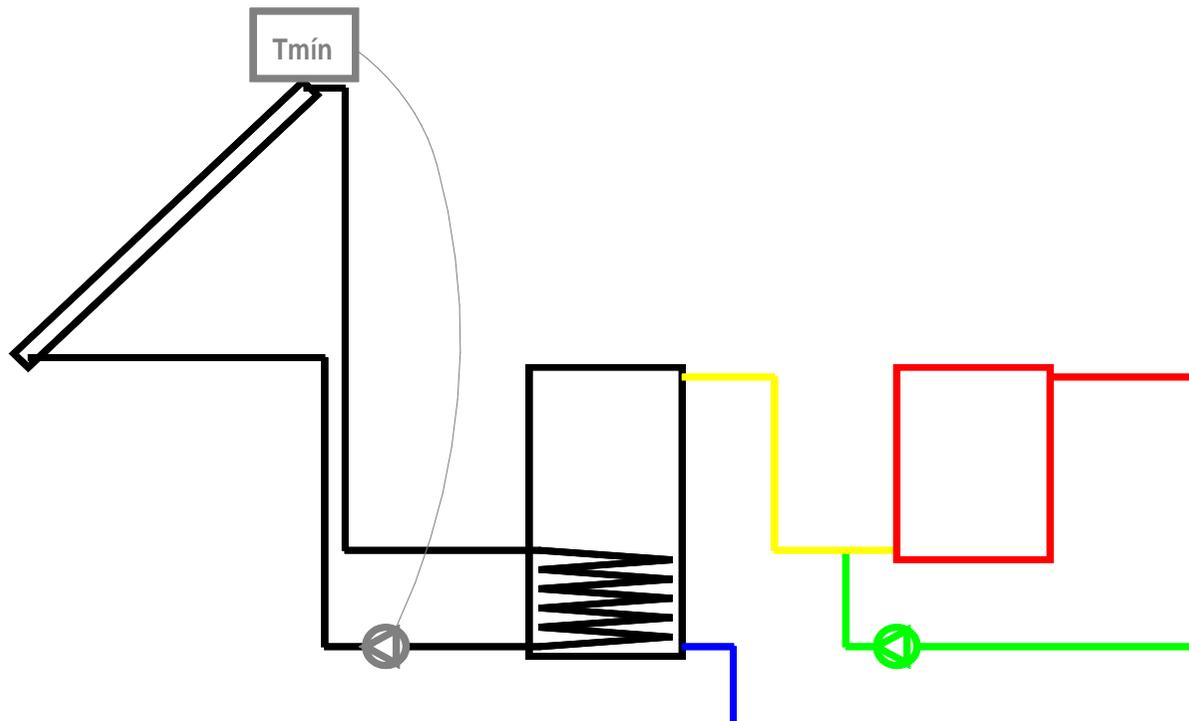
SISTEMAS ANTIHELADAS 1: MEZCLA ANTICONGELANTE

- Circuitos indirectos
- Porcentaje de anticongelante
- Mantenimiento proporciones



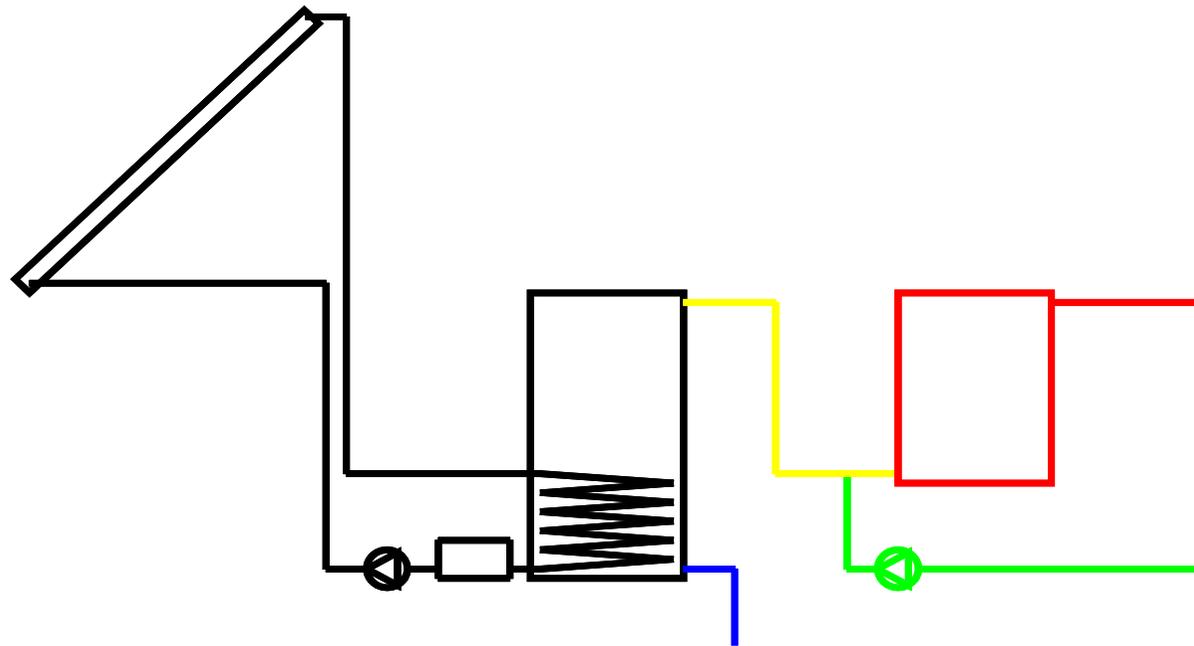
SISTEMAS ANTIHELADAS 2: RECIRCULACIÓN DE FLUIDO

- Circulación forzada
- Zonas de riesgo mínimo
- Mantenimiento dispositivo electromecánico

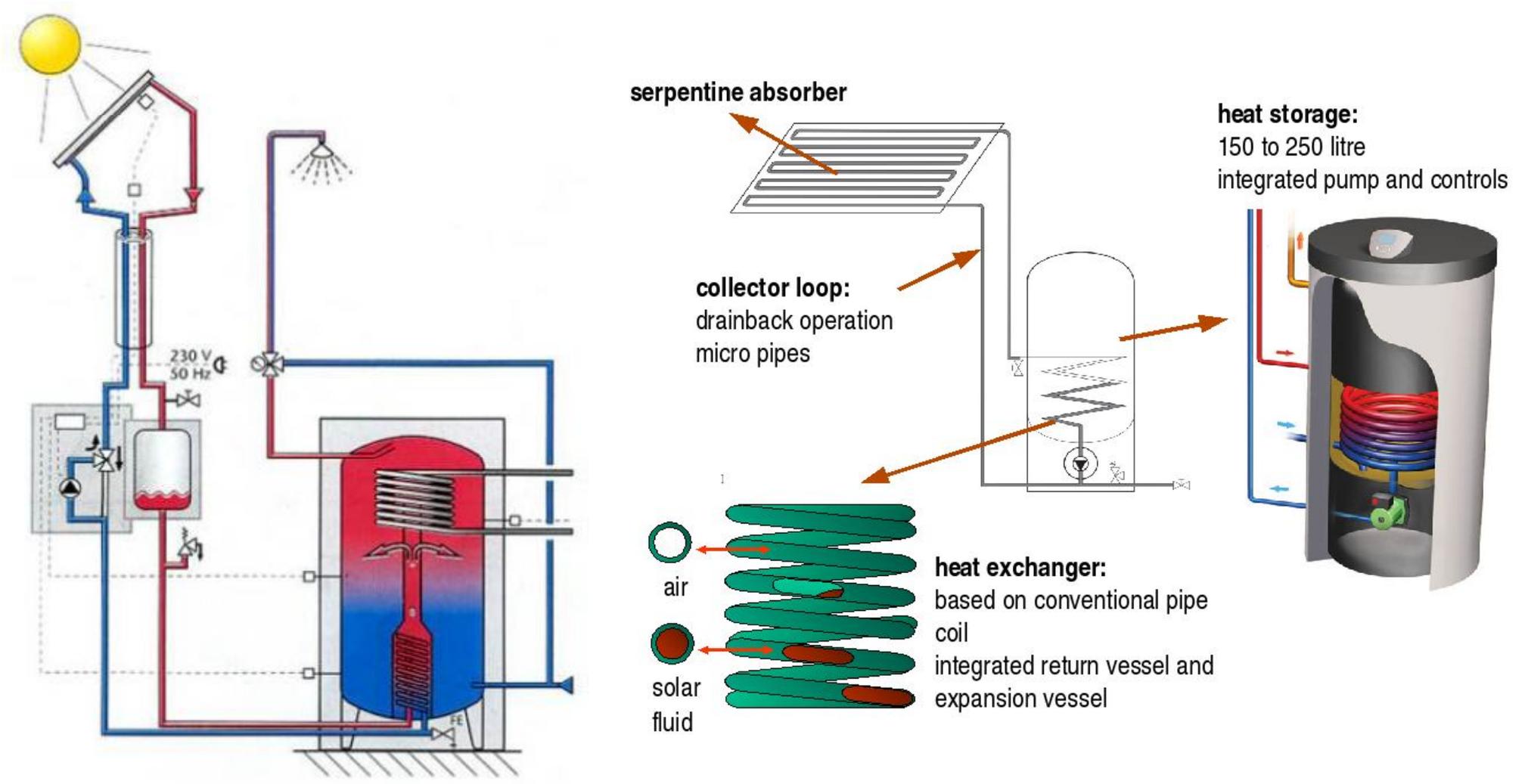


SISTEMAS ANTIHELADAS 3: DRENAJE AUTOMÁTICO

- Circuito indirecto y forzado
- Cuidadoso diseño y trazado de tuberías
- Protección a formación de vapor

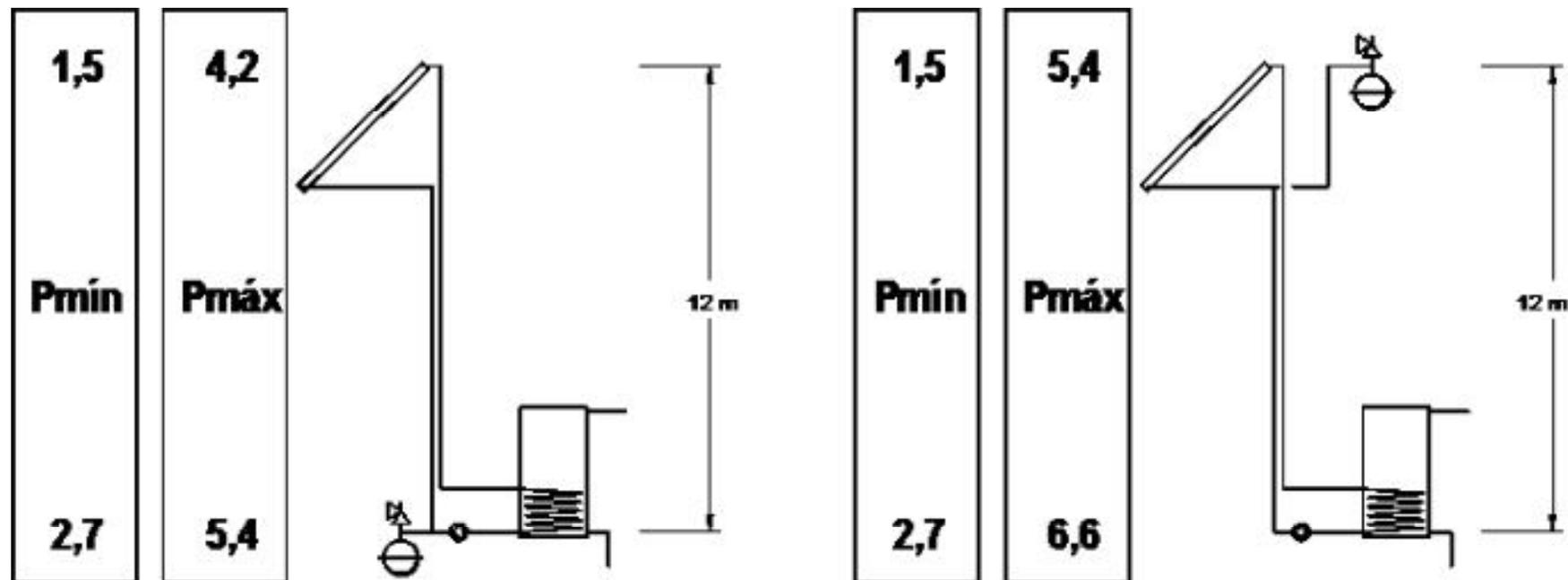


EJEMPLOS DE SISTEMAS DE VACIADO AUTOMÁTICO



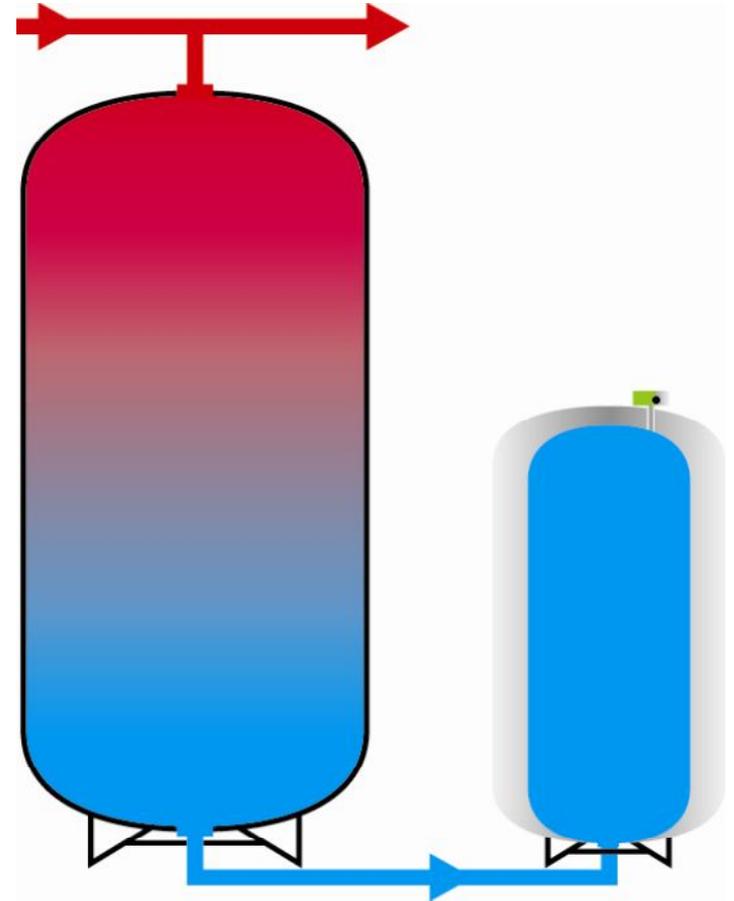
PRESIONES DE TRABAJO

- Presiones mínimas: evitar entrada de aire
- Presiones máximas: limitar expansión por temperatura



DISEÑO DEL SISTEMA DE EXPANSIÓN

- siempre usando vasos de expansión cerrados
- con válvula de seguridad y manómetro graduado
- uno para cada uno de los circuitos cerrado
- ramales de conexión a parte fría de circuitos
- prever expansión del vapor en circuito primario
- ramal con capacidad para enfriar el fluido



CÁLCULO DEL SISTEMA DE EXPANSIÓN

- en circuito primario prever formación de vapor
- en resto de circuitos según UNE 100155

Volumen del vaso de expansión:

$$V_{\text{NOMINAL}} = V_{\text{UTIL}} + V_{\text{GAS}} = V_{\text{UTIL}} * C_P = (V_{\text{RESER}} + V_{\text{DILAT}} + V_{\text{VAPOR}}) * C_P$$

V_{RESER} : Volumen de reserva para compensar contracción (3% ó 3 l.)

$V_{\text{DILAT}} = V_{\text{TOTAL}} * C_{\text{ET}}$: Volumen total por coeficiente de expansión térmica en función de la temperatura ($C_{\text{ET}} = 0,085$)

V_{VAPOR} : Volumen de fluido en captadores e instalación que se puede transformar en vapor

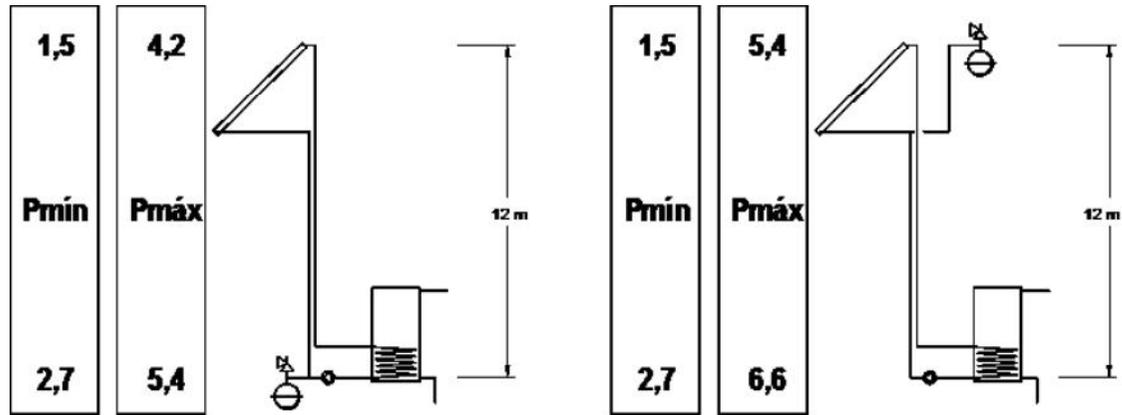
- C_P : Coeficiente de presiones $C_P = (P_{\text{Máx}} + 1)/(P_{\text{Máx}} - P_{\text{mín}})$

$$P_{\text{Máx}} = 0,9 * P_{\text{vs}} \leq P_{\text{vs}} - 0,5$$

EJEMPLO DE CÁLCULO DE PRESIONES 1

En una instalación con interacumulador, se estudian las presiones producidas en el circuito primario y se analiza las diferencias producidas al proyectar la expansión en el nivel más alto y más bajo del circuito. La diferencia de alturas es de 12 metros. Se establece una presión mínima en colectores de 1,5 bar que en la parte inferior será de 2,7 bar ($1,5 + 1,2$). Se va a suponer para ambos casos que todos los componentes tienen una presión de trabajo superior a 7 bar con lo que se puede prever una válvula de seguridad tarada a 6 bar.

EJEMPLO CÁLCULO DE PRESIONES 2



CASO 1

CASO 2

CIRCUITO PRIMARIO

Punto más alto

Colectores

Primario intercambiador

Expansión y seguridad

Altura	Pmín	Pmáx	PTvs
0,0	1,5	4,2	
0,0	1,5	4,2	
12,0	2,7	5,4	
12,0	2,7	5,4	6,0

Altura	Pmín	Pmáx	PTvs
0,0	1,5	5,4	
0,0	1,5	5,4	
12,0	2,7	6,6	
0,0	1,5	5,4	6,0

EJEMPLO CÁLCULO DE PRESIONES 3

CASO 1. Si se instala en la parte inferior, la presión máxima de trabajo en la parte inferior será 5,4 bar ($6 \cdot 0,9$). La correspondiente presión máxima en la parte superior será 4,2 bar ($5,4 - 1,2$). El sistema de expansión se calcula entre 2,7 bar de mínima y 5,4 bar de máxima.

CASO 2. Si se instala en la parte superior, la presión máxima de trabajo en la parte superior será 5,4 bar. La correspondiente presión máxima en la parte inferior será 6,6 bar ($5,4 + 1,2$). Debe verificarse que cualquier componente situado en la parte inferior soporta esta presión. El sistema de expansión se calcula entre 1,5 bar de mínima y 5,4 bar de máxima.

EJEMPLO DE CÁLCULO DEL VASO DE EXPANSIÓN

Calcular los vasos de expansión de los 2 circuitos primarios de glicol sabiendo que tiene 20 colectores solares (1,5 litros por colector de capacidad) y el circuito primario tiene 10 litros de capacidad por encima de colectores y 20 en el resto hasta intercambiador; el intercambiador tiene 5 litros de capacidad:

$$\text{Para ambos : } V_e = 0,085 * (20*1,5 + 10 + 20 + 5) = 5,5$$

$$V_{vap} = 20*1,5 + 10 = 40$$

$$V_r = 3$$

$$V_u = 5,5 + 40 + 3 = 48,5 \text{ litros}$$

$$\text{Para caso 1: } C_p = (5,4 + 1) / (5,4 - 2,7) = 6,4 / 2,7 = 2,37$$

$$V_{vex} = 48,5 * 2,37 = 114,9 \text{ litros. } V_{nom} = 120 \text{ litros}$$

$$\text{Para caso 2: } C_p = (5,4 + 1) / (5,4 - 1,5) = 6,4 / 3,9 = 1,64$$

$$V_u = 48,5 * 1,64 = 79,5 \text{ litros. } V_{nom} = 80 \text{ litros}$$

CAPÍTULO 5 (cont)

INCORPORACIÓN A LA EDIFICACIÓN

**JUAN CARLOS
MARTÍNEZ ESCRIBANO**
Ingeniero Consultor

juancarlosmartinezescribano@yahoo.es



INCORPORACIÓN DEL SST A LA EDIFICACIÓN

1. Integración arquitectónica
2. Orientación, inclinación y sombras
3. Seguridad y solución estructural
4. Conexionado del equipo de energía auxiliar
5. Otros factores y detalles del SST

1. FACTORES PARA LA INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA

- Para la mejor integración en el edificio “Evaluar los criterios arquitectónicos y contrastar con los criterios energéticos”
- Condiciones urbanísticas y arquitectónicas
- Estudiar las posibles ubicaciones
- Criterios para conseguir buena estética visual:
 - Incorporar con el estilo arquitectónico y constructivo
 - Buscar la alineación con los ejes principales
 - Dar continuidad a la edificación
- Cuidar los detalles constructivos

POSIBLES UBICACIONES DE LOS SST EN VIVIENDAS

- Cubierta inclinada
- Cubierta plana:
 - Visitables y, normalmente, fácilmente accesibles
 - No transitables y menos accesibles
- Castilletes

Es más difícil pensar en soluciones que no estén en las cubiertas (fachadas, terreno, anexos, etc.) por los problemas que introduce de falta exposición al Sol y de lejanía a los puntos de consumo.

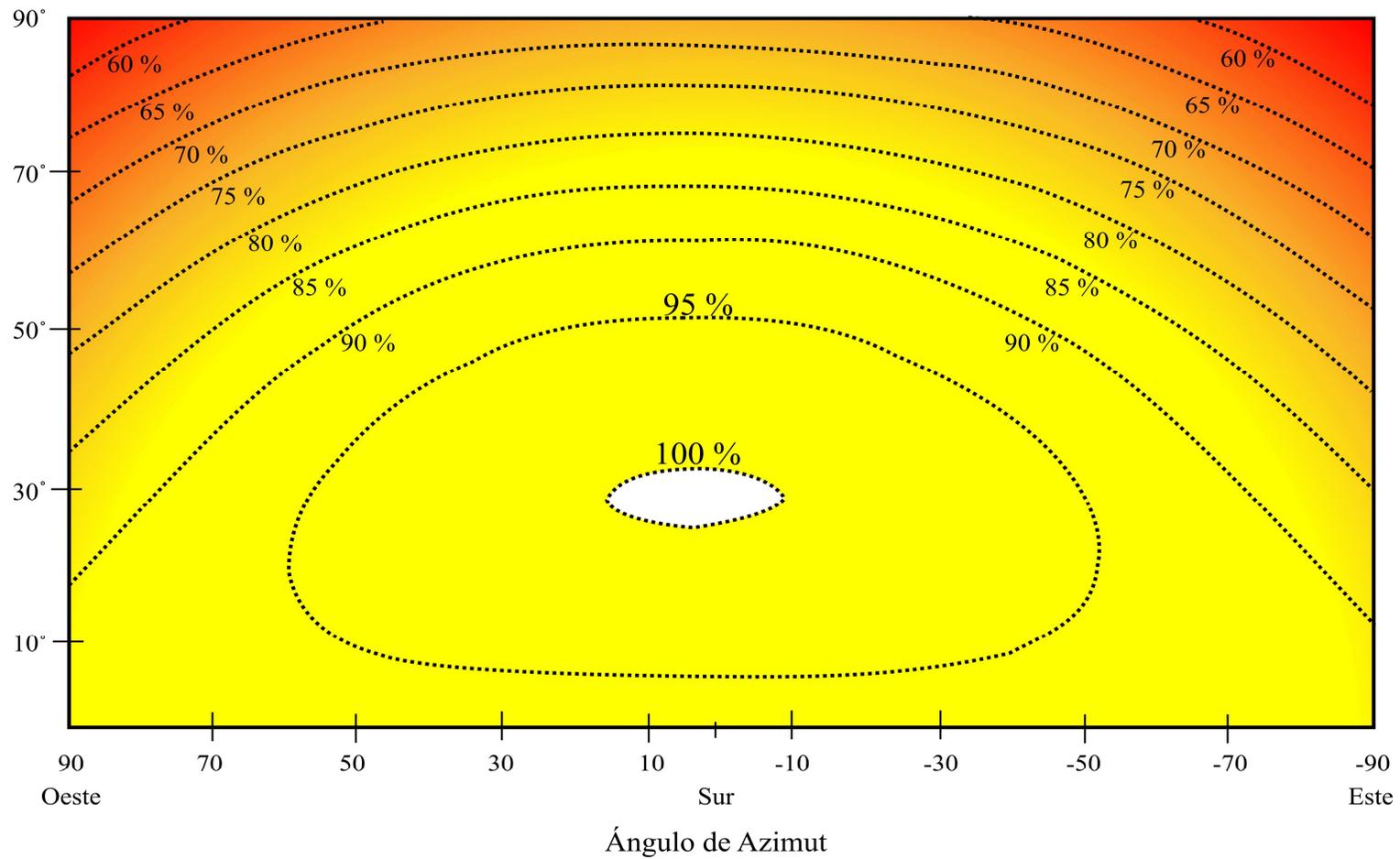
SST EN CUBIERTA INCLINADA



SST EN CUBIERTA PLANA



OPTIMIZAR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DEL SST



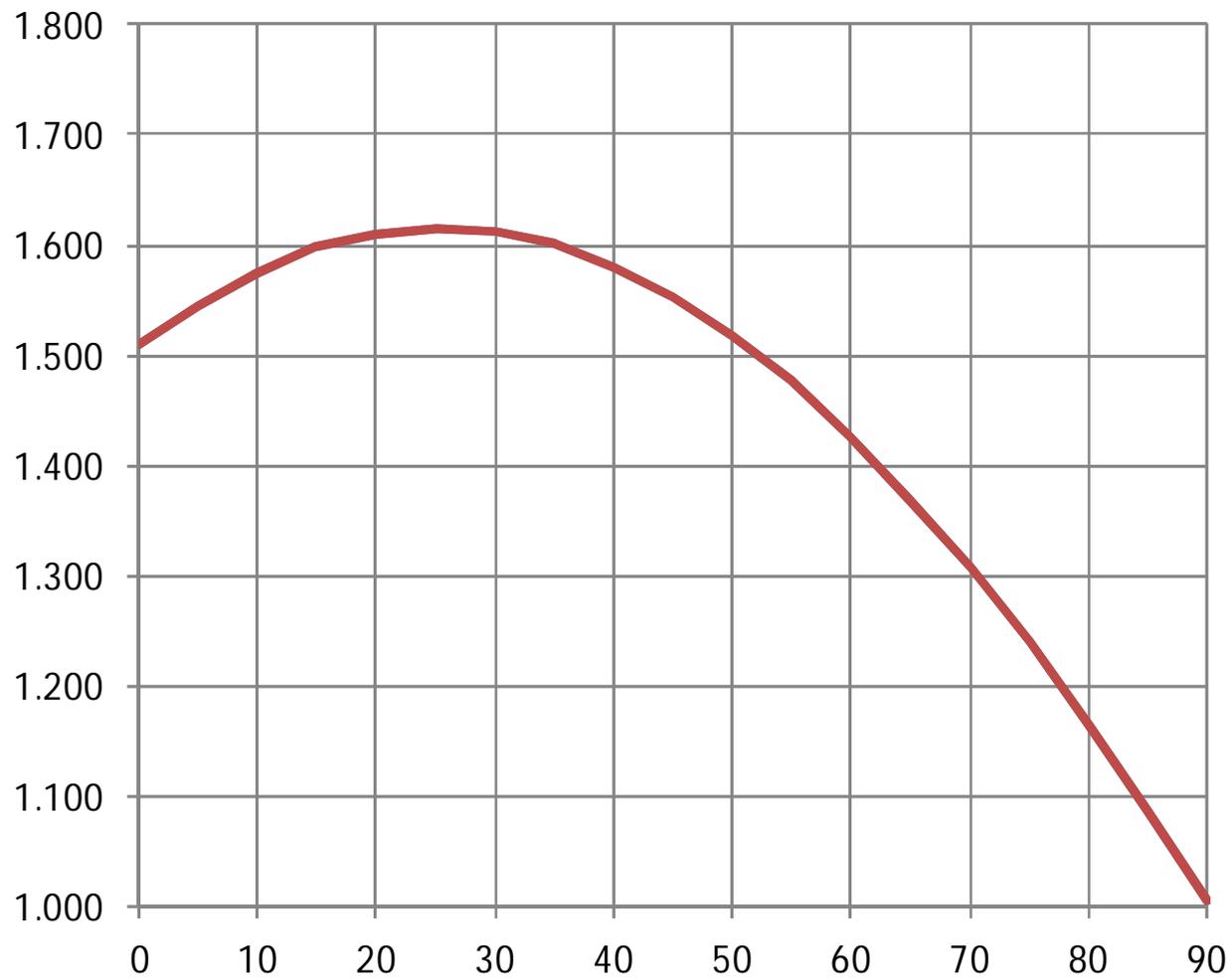
CRITERIOS DE ORIENTACIÓN DEL SST

- Máxima insolación con orientación Norte
- Desviaciones hasta $\pm 45^\circ$: efectos poco apreciables
- Desviaciones superiores a $\pm 45^\circ$ hasta 60° :
 - No afecta excesivamente en CST con poca inclinación
 - Afecta más en CST con mucha inclinación

En cualquier caso, siempre se deben estudiar los efectos en prestaciones con programas de simulación.

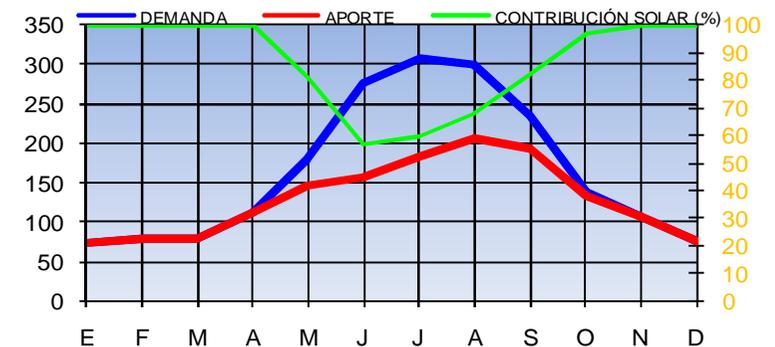
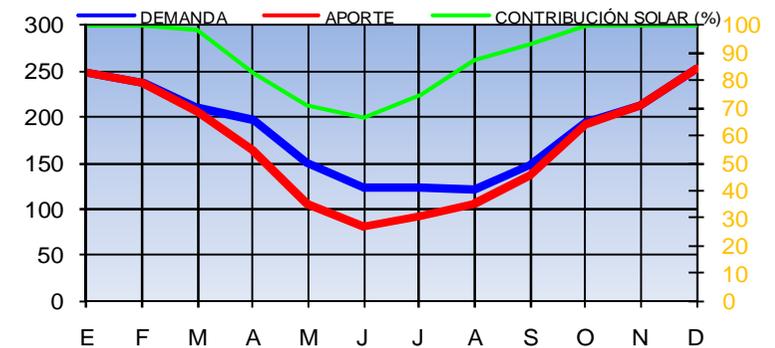
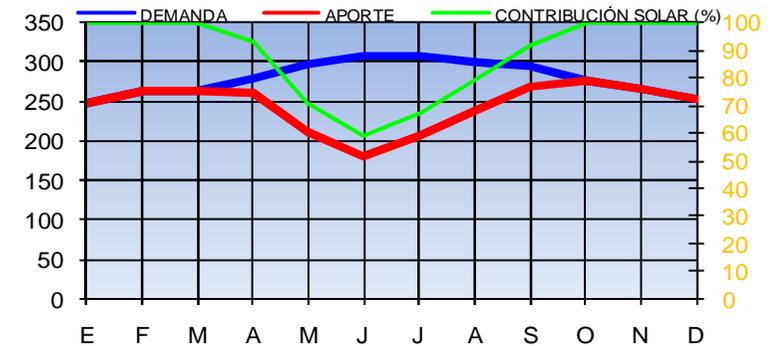
CRITERIOS DE INCLINACIÓN DEL SST

Para consumo constante a lo largo del año = $\text{latitud} \pm 15^\circ$



OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA INCLINACIÓN

- Inclínación en función del consumo:
 - anual constante: la latitud
 - estival: la latitud geográfica - 10°
 - invernal: la latitud geográfica + 10°
- Considerar otros criterios (p. ej. separación de obstáculos)
- Realizar análisis sensibilidad



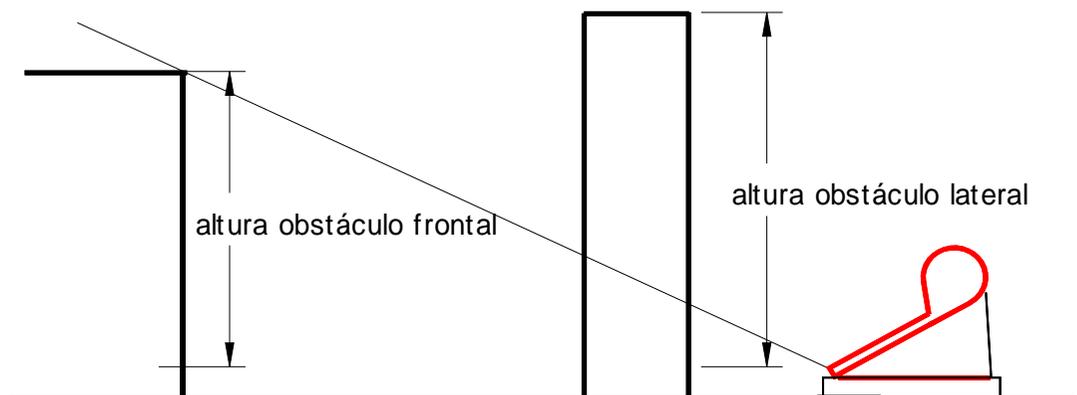
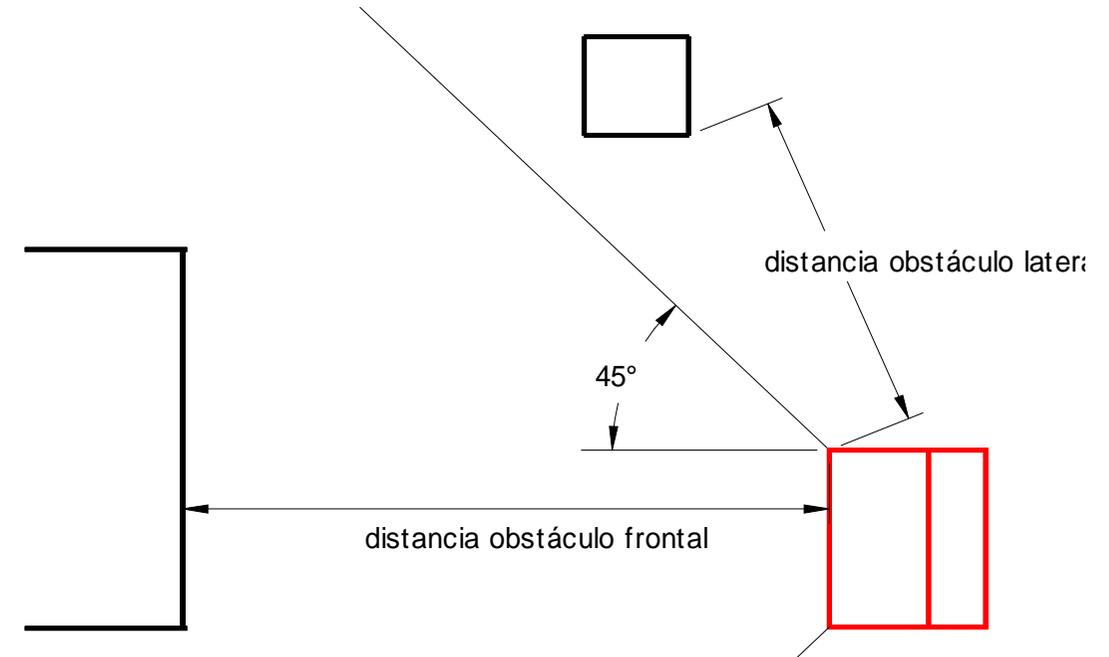
ESTUDIO DE SOMBRAS

- Análisis de sombras cercanas y lejanas
- Considerar sombras actuales y previsión futuras
- Criterios de control de sombras en SST
 1. Requisitos geométricos:
 - Sombras frontales
 - Sombras laterales
 2. Sombras en el solsticio de invierno
 3. Estudio de la reducción de la radiación solar incidente
 4. Cálculo de prestaciones con efectos sombra

ESTUDIO DE SOMBRAS 1

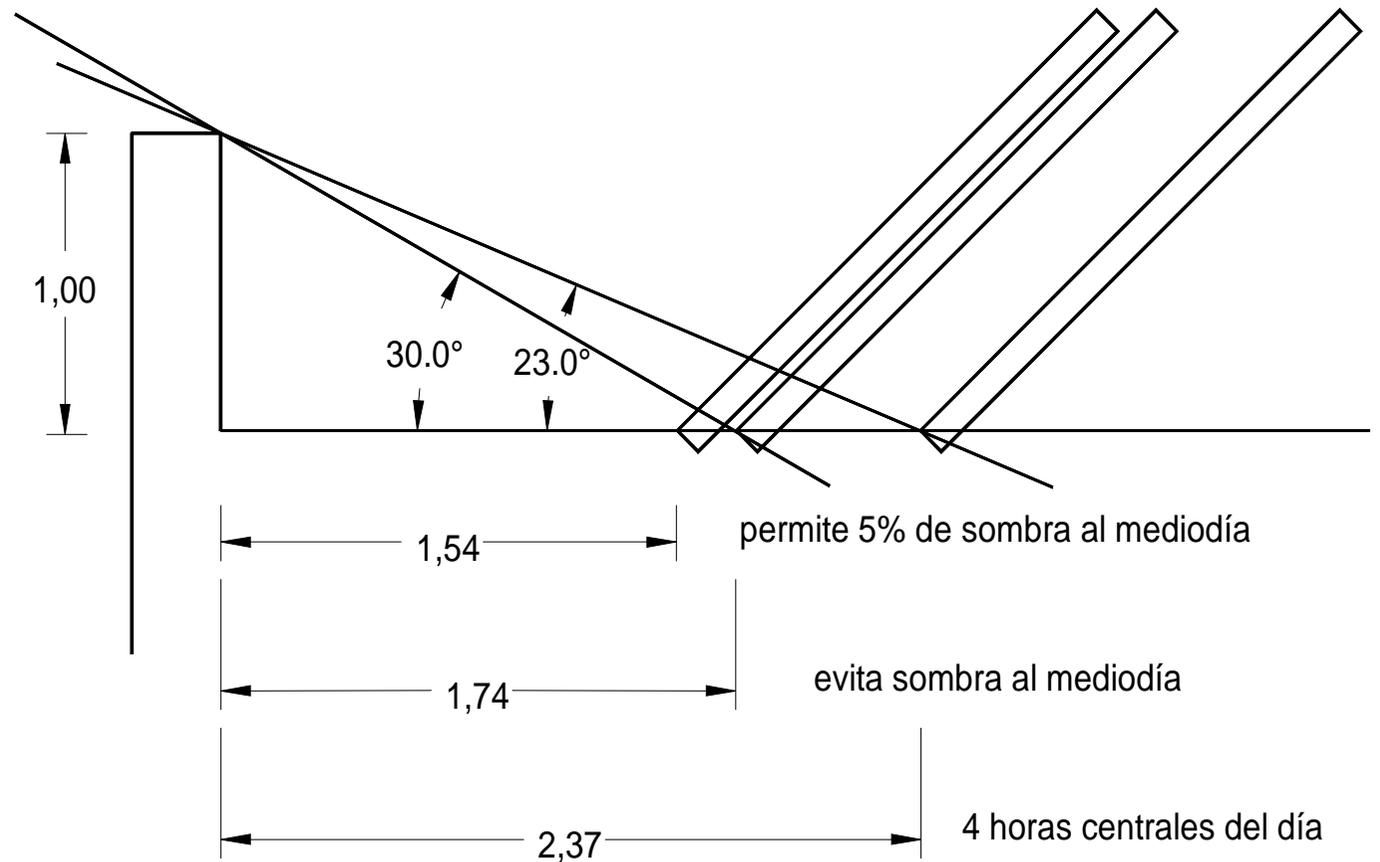
Requisitos geométricos:

- Sombras frontales
 $d \geq 1,7 \cdot h$
- Sombras laterales
 $d = 1,7 \cdot h$ para 45°
 $d = 1,0 \cdot h$ para 90°



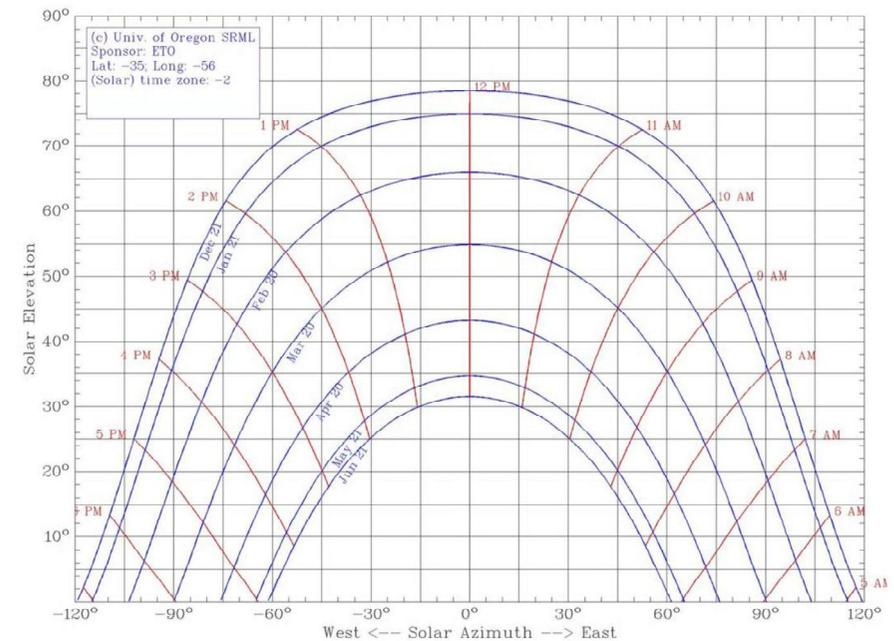
ESTUDIO DE SOMBRAS 2

Sombras en el solsticio de invierno



ESTUDIO DE SOMBRAS 3

Análisis de la reducción de prestaciones producida por la disminución de la radiación incidente en colectores



3. SOLUCIONES ESTRUCTURALES

Debe solucionarse el encaje de la estructura soporte del equipo con el sistemas constructivos de la edificación:

- Estructura y paramentos verticales
- Soleras y forjados
- Cubiertas inclinada o plana, ligera o pesada

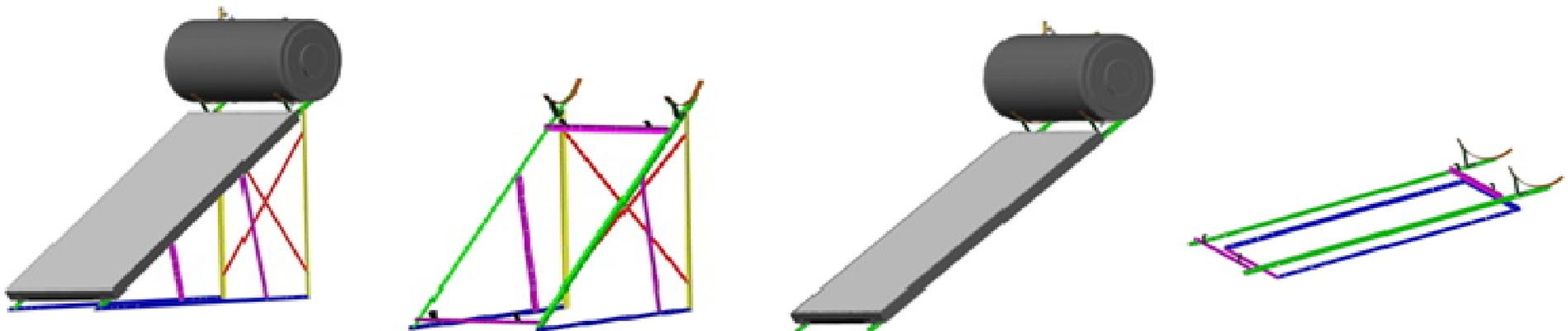
Se pueden distinguir las siguientes estructuras:

- La propia del SST
- La estructura base de la vivienda
- Una posible estructura intermedia (de reparto, etc.)

ESTRUCTURA DE SOPORTE PROPIA DE LOS SST

Los equipos solares normalmente son suministrados con una estructura de soporte diseñada por el fabricante:

- Que establece los puntos de sujeción suficientes y la forma de sujeción de colectores que permita las dilataciones
- Utilizando materiales con protección intemperie
- Con diferentes modelos en función de la aplicación y del tipo y número de colectores



PROYECTO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE

El profesional competente, cumpliendo todos los requisitos establecidos por la normativa vigente, debe desarrollar proyecto estructural completo:

- Comprobando que la estructura de la vivienda es apta para soportar las cargas que se puedan generar
- Incorporando y diseñando una estructura intermedia si fuera necesaria
- Verificando el diseño de la propia estructura del sistema solar térmico